



GDR 3187

La phase glace dans les nuages, observée par microonde

GdR Radiométrie microonde pour l'étude de l'atmosphère

**Observatoire de Paris, Salle du Conseil
17 avril 2014**

Les objectifs de la réunion sont tout d'abord rappelés : favoriser le dialogue autour de la télédétection de la phase glace dans les nuages dans notre communauté, et si possible, susciter des projets communs.

Des présentations ont été sollicitées, d'autres ont été spontanément proposées. Le programme de la journée et la liste des participants sont donnés en annexe. Ci-dessous un résumé des présentations. Ces présentations sont accessibles sur le site.

Ice clouds observed by passive remote sensing : What did we learn from the GEWEX Cloud Assessment? Claudia Stubenrauch, LMD.

C. Stubenrauch résume le travail d'inter-comparaison et d'évaluation des estimations des nuages à l'échelle du globe, par satellites, en insistant sur les nuages de glace. Le bilan de ce travail est disponible sur <http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/gewexca>. Il y a en moyenne 68% de couverture nuageuse sur le globe. Des différences existent entre les estimations de la couverture nuageuse en glace, surtout pour les nuages fins. Ces différences s'expliquent par les différences de sensibilité à la glace selon les instruments spatiaux utilisés. Pour réduire ces incertitudes, l'intérêt des synergies inter-instruments est évident. On notera néanmoins que les structures spatiales de la couverture nuageuse sont très semblables d'une estimation à l'autre.

Pour les estimations des propriétés optiques et microphysiques, la première étape consiste à estimer la phase. Ceci peut être dérivé de l'information de polarisation, de la température, ou d'information multi-spectrales. La encore, il est capital de garder en tête la sensibilité de instruments, surtout quand on compare les estimations satellites aux modèles (par exemple, des filtrages sur les nuages semi-transparentes dans certains cas). Claudia mentionne ensuite des travaux récents sur l'estimation des profils de nuages de glace, obtenus à parti de données lidar /radar (DARDAR) et de AIRS (Feofilov et al.,

2013). On fait souvent l'hypothèse de contenu constant dans le profil, mais une analyse montre des types de profils très différents qui ont un impact significatif sur le refroidissement radiatif de l'atmosphère. Il est à noter que ces types de profils ne semblent pas être liés à la saison ou à la région.

'Caractérisation in situ de la phase glace', Alfons Schwarzenboeck, LAMP.

A. Schwarzenboeck rappelle tout d'abord les mécanismes de formation des cristaux de glace et de leur croissance. La croissance par diffusion de vapeur peut produire des cristaux de glace pristine aux formes plutôt régulières (plaques, colonne, dendrites), mais les autres mécanismes (agrégation et givrage) conduisent à des particules très irrégulières. La majorité des particules de glaces ont des croissances très complexes et des formes en conséquences aussi très compliquées. La glace pristine est surtout présente aux pôles.

Les instruments aéroportés pour la caractérisation des particules de glace in situ sont décrits : les imageurs 2D pour obtenir la taille des cristaux, les spectromètres qui mesurent les spectres de diffusion avec éventuellement des informations de sphéricité et de rugosité, les 'bulk condensed water content device' pour mesurer la densité. Le problème de la saturation des instruments quand il y a trop d'eau est évoqué (pour des contenus supérieurs à 1g/m^3 , ce qui est fréquent). L'établissement de la distribution en taille des particules nécessite souvent l'utilisation de différents imageurs, et le 'raccordement' de leurs mesures. En ce qui concerne la forme, on peut définir des formes types, comme au LAMP (10 formes). Mais ces classifications, automatiques ou manuelles, peuvent sensiblement différer. Pour résoudre le problème de la relation masse / diamètre $m(D)=\alpha D^\beta$, la mesure radar à 94 GHz est un outil très efficace, en complément des mesures in situ. Les paramètres α et β sont ajustés pour que soient satisfaites à la fois les mesures de réflectivités radar et les données in situ, le lien entre les deux étant la simulation des réflectances par la T matrice. En sont déduites des lois masse / diamètre qui semblent assez générales et donc pourraient s'avérer très utiles pour les modélisations et inversions.

'Traitement explicite des nuages dans Méso-NH', Jean-Pierre Pinty, LA.

J.-P. Pinty fait tout d'abord un rappel sur les différents types de modèles de nuage méso-échelle, en fonction de leur complexité.

L'objectif du nouveau schéma du modèle (LIMA pour Liquid Ice Multiple Aerosols) est de prendre en compte la présence des aérosols de façon réaliste, tout en conservant une bonne efficacité de calcul pour des simulations à haute résolution. Les différents processus de formation et de conversion des particules sont décrits.

Les estimations d'aérosols MACC de l'ECMWF (combinaison de données satellites et de modélisation) sont utilisées pour initialiser Méso-NH. Selon le type de particule, différents modes sont activés.

Le nouveau schéma LIMA a été testé à échelle kilométrique sur un domaine de $400 \times 400 \times 50$ points de grille de la campagne HYMEX (IPO6). Il montre une augmentation des précipitations sur 24 h, en comparaison avec le schéma précédent, ce qui est plus proche des observations de pluie (pluviomètres et radar). LIMA devrait aussi améliorer la représentation des nuages de glace avec grêle; le codage est prêt mais la simulation de l'IOP6 est à réaliser. D'autres simulations ont été effectuées pour d'autres cas HyMeX. Le

schéma est stable et peut être évalué objectivement. La forme des cristaux doit être introduite dans un prochain développement du schéma LIMA.

‘Récentes avancées dans l’analyse de la phase glace dans les nuages à partir d’observations radar et de combinaisons radar-lidar’, Julien Delanoë, LATMOS.

J. Delanoë fait tout d’abord un résumé pédagogique sur la diffusion volumique dans les nuages. Il rappelle que la réponse du radar est en D^6 alors que celle du lidar est en D^2 et en conclut à la sensibilité du radar à la taille des particules et à celle du lidar plutôt en terme de concentration. Ces deux mesures sont très complémentaires.

Pour utiliser la synergie lidar / radar, les observations sont simultanément inversées, en utilisant une méthode variationnelle, pour une inversion cohérente des deux types d’observations. Cette inversion prend en compte a priori ainsi que les bruits respectifs des instruments et les erreurs dans le transfert radiatif. Des tests ont été faits en rajoutant un radiomètre infrarouge, mais ils n’ont pas été concluants (sensibilité optimale de l’IR aux mêmes altitudes que les instruments précédents, donc pas d’information ajoutée).

Des résultats très concluants sont présentés, sur différentes campagnes aéroportées. Les possibilités de voler avec des instruments microondes / millimétriques / sub-millimétriques dans de prochaines campagnes sont évoquées.

La présentation se termine sur :

- La nécessité de poursuivre les campagnes de mesures aéroportées radar (LATMOS + LAMP) pour fournir à la communauté des lois masse / diamètres réalistes et représentatives d’une grande variété d’environnements. Le radar permet entre autres d’étendre spatialement ce qui est vu par la mesure in situ.
- L’importance des travaux sur les modèles de rétrodiffusion. Pour les particules de taille similaire à la longueur d’onde (régime de Mie), des efforts restent à faire pour avoir des estimations de la diffusion réalistes et pas trop coûteuses en temps calcul (Rayleigh-Gans¹ par exemple pour reproduire rapidement les résultats de la DDA).

‘Les différentes hypothèses microphysiques et leurs impacts en microondes’, Victoria Galligani, LERMA.

Les microondes interagissent avec la phase liquide dans les nuages essentiellement par l’intermédiaire de l’émission/absorption. Par contre, la glace est très peu absorbante en microonde et l’interaction avec le rayonnement se fait essentiellement par la diffusion, lorsque les particules de glace sont suffisamment grosses par rapport à la longueur d’onde. En-dessous de 80 GHz, il y a peu d’interaction entre la phase glace dans les nuages et les microondes passives. Au delà, depuis un satellite, la présence de glace peut se révéler par la décroissance des températures de brillance.

Les méthodes d’inversion des propriétés des nuages radiométrie microonde font généralement appel à un modèle de transfert radiatif et la qualité de l’inversion dépend de la représentativité du transfert radiatif. En présence de glace, la diffusion introduit de

¹ Equation for the microwave backscatter cross section of aggregate snowflakes using the Self-Similar Rayleigh-Gans Approximation Hogan, R. J., and C. D. Westbrook (soumis au JAS) et disponible sur <http://www.met.rdg.ac.uk/clouds/publications.html>

la complexité dans le modèle et les simulations de transfert radiatif sont difficiles et très sensibles aux paramètres de la phase glace. La densité des particules (la loi masse / diamètre), la distribution de leur taille, leur forme et orientation impactent le résultat. Pour évaluer le transfert radiatif, des comparaisons sont faites entre des simulations et des observations microondes (MHS + CloudSat). Les simulations couplent les sorties d'un modèle de nuage (Meso-NH) avec un code de transfert radiatif (ARTS). Les différences les plus significatives sont observées dans les cas de neige, dont les propriétés microphysiques sont mal connues (surtout la loi masse / diamètre). En ajustant ces propriétés, il est possible de simuler correctement les observations, à la fois en microondes passives et actives. Ces travaux doivent se poursuivre, pour développer des bases d'apprentissage pour des inversions statistiques des propriétés nuageuses.

**'Observations microondes, millimétriques et submillimétriques: les perspectives',
Eric Defer, LERMA.**

E. Defer commence par rappeler que les observations microondes sont pour le moment limitées à 200 GHz, alors que la sensibilité à la phase glace augmente avec la fréquence. La prochaine génération de satellite opérationnel MetOp-SG embarquera un imageur microonde dans la gamme 180 – 700 GHz, le Ice Cloud Imager, pour la caractérisation des nuages de glace, en plus des sondeurs et imageurs MWS et MWI. De plus, pour la phase glace dans les nuages, 3MI et IASI-SG apporteront aussi leur contribution sur cette même plateforme.

De l'instrumentation aéroportée a été développée en Europe, dans la gamme microonde – sub-millimétrique. L'avion allemand HALO est équipé d'un radiomètre entre 22 et 190 GHz, ainsi que d'un radar à 36 GHz. Ces instruments ont récemment volé avec succès. Les instruments aéroportés sur l'avion du UK Met Office, dont ISMAR, couvrent de 22 à 700 GHz (un radiomètre à 875 GHz est aussi en cours de développement). Les premiers vols devraient avoir lieu bientôt et le LERMA y participera.

Les récents travaux sur l'analyse des observations microondes existantes (données MADRAS, TRMM, données A-train) sont rapidement présentés, en synergie avec d'autres observations microondes actives, infrarouge ou visible.

Les possibilités d'embarquer ISMAR sur un Airbus, dans le cadre du projet HAIC (HAIC : High Altitude Ice Crystals (www.haic.eu)) sont évoquées.

'Utilisation des microondes passives hautes fréquences pour la détection des précipitations 'Chantal Claud, LMD.

C. Claud utilise les observations des sondeurs microondes autour de la raie de vapeur d'eau à 183 GHz pour détecter les précipitations, par l'intermédiaire du signal diffusé par la phase glace. Comme la corrélation entre le signal diffusé par la glace et la précipitation est faible et il y a qu'il peut y avoir des problèmes de saturation, les observations sont utilisées pour construire une climatologie d'occurrences des précipitations, en distinguant celles qui sont convectives de celles qui ne le sont pas. Des analyses de cas ont été effectuées dans le cadre de HyMeX pour ajuster la méthode et des comparaisons réalisées notamment avec des mesures pluviométriques in situ, et des estimations CloudSat. AMSU et MHS fournissent des observations autour de 183 GHz depuis fin 1998. ATMS mesure aussi à ces fréquences, mais l'instrument est, au moins sur le papier, moins performant (instrument plus léger que ses prédécesseurs). Des tests devront donc être menés pour s'assurer que les méthodes développées peuvent être

utilisées pour cet instrument. Pour l'obtention d'une climatologie, les changements d'instruments sont problématiques et l'inter-calibration des mesures est cruciale.

'Simulation du sondeur micro-ondes SAPHIR en zones nuageuses avec le modèle ALADIN Réunion', J.-F. Mahfouf, Météo-France.

Des outils de modélisation de la diffusion ont été ajoutés à RTTOV et ont été récemment affinés. De nouvelles tables de Mie ont été calculées (RTTOV 11), pour minimiser la différences entre les simulations et les observations, sur toute la gamme de fréquences entre 20 et 200 GHz (Geer et al., 2014), à la fois pour les précipitations stratiformes et convectives. La diffusion à basses fréquences était trop forte et insuffisante aux hautes fréquences, par rapport aux observations. Les propriétés de la neige sèche ont été modifiées avec l'aide de la base de données de Liu (2008) (calculs DDA).

A Météo-France, des travaux ont été entrepris pour évaluer cet outil, interfacé avec les sorties du modèle Aladin sur la Réunion (Aladin-Réunion). Les simulations radiométriques Aladin / RRTOV sont comparées avec les observations Saphir de Mégha-Tropiques. Par rapport à la version RTTOV-SCATT d'origine, la diffusion est mieux représentée avec les nouveaux ajustements, mais des différences existent toujours. Il n'y a toujours pas assez de diffusion par rapport aux observations (les Tbs simulées restent trop chaudes dans les zones de forte diffusion au sein des cyclones tropicaux). Des efforts supplémentaires vont être menés, pour simuler les phénomènes convectifs sous maille dans le modèle Aladin et les prendre en compte dans le transfert radiatif RTTOV-SCATT. Des incohérences existent entre les hypothèses utilisées pour décrire les processus microphysiques dans les modèles atmosphériques et dans les modèles de transfert radiatif (lois de distribution, forme et densité des particules).

'Observation des précipitations en Antarctique avec CloudSat', Cyril Palerme, LGGE.

Les précipitations sur le continent antarctique sont mal connues. Elles sont de nature différentes en périphérie et à l'intérieur du continent, avec des particules beaucoup plus petite à l'intérieur du continent ('diamond dust').

Au LGGE, des comparaisons ont été entreprises, entre les estimation de ERA-Interim et de CloudSat, ainsi qu'avec des estimations des accumulation de neige (par mesure in situ et extrapolation avec des données satellites). CloudSat semble sous-estimer la neige, par rapport aux autres estimations dans l'intérieur du continent (le plateau). Des questions se posent sur la validité des estimations CloudSat en zones de relief et quand les particules sont très petites.

Ces travaux demandent à être consolidés. C'est une première étape, dans une région où très peu d'informations sont disponibles.

'Caractérisation de la phase glace dans les nuages à partir de POLDER et MODIS', Jérôme Riedi, LOA

Les principes de distinction de la phase glace avec Polder et Modis sont très différents. Pour Polder, l'information de polarisation est utilisée : les particules glacées et liquides

n'ont pas la même fonction de phase. Pour Modis, on utilise l'absorption différentielle et l'estimation de la température

Les modèles microphysiques sont très importants pour estimer la réponse des instruments. Selon la forme et la qualité de la surface (rugosité), des réponses différentes sont obtenues en terme de diffusion angulaire et polarisée. L'objectif est de trouver des formes génériques, qui représentent aux mieux les observations satellites. Les cohérences des estimations Polder et Modis de la phase glace sont finement analysées pour mieux contraindre le problème (relation avec la température de nuage, relation entre la taille effective des particules et la température...). Des ensembles d'agrégats aux surfaces irrégulières sont les plus adaptés pour représenter les observations (facteur d'asymétrie de l'ordre de 0.7).

Les contraintes imposées par l'étude simultanée d'observations multiples permettent des progrès importants dans la compréhension de la microphysique en phase glace. Les prochaines observations disponibles à bord de MetOp-SG (3MI, ICI) apporteront encore de nouvelles contraintes.

'La phase glace vue par le visible et l'infrarouge et les liens avec les microondes' **Vincent Noel, LMD.**

Avec le lidar, la distinction entre les phases glace et liquide se fait par l'intermédiaire de la polarisation. Les cristaux de glace non sphériques modifient la polarisation du signal réfléchi.

Calipso a été lancé en 2006. EarthCare sera aussi équipé d'un lidar. La trace de Calipso au sol est très fine, d'où la nécessité d'intégrer sur une saison pour avoir des images globales. On note que l'utilisation de Calipso de jour est mal maîtrisée (des photons solaires difficiles à prendre en compte).

A l'origine, Calipso pointait à 0.3° du nadir, mais l'effet des cristaux orientés avait été très sous-estimé et entraînait des sous-estimations des épaisseurs optiques. Le pointage a été modifié (à 3° maintenant). Le pourcentage de cristaux orientés dépend essentiellement de la température et montre peu de variations géographiques. Il est de 8-10% autour de -10° - -20° .

Des analyses ont porté sur la détection des cirrus sub-visibles. Ils sont un indicateur de l'assèchement des masses d'air. Ils sont surtout présents sous les Tropiques et sans doute liés à des événements fortement convectifs (rétro-trajectoires qui coupent des systèmes convectifs).

Identifier les nuages de glace avec Calipso est relativement facile. Par contre, restituer la phase sur toute la colonne est beaucoup plus complexe: par diffusion multiple dans la colonne, la polarisation est modifiée. La transition entre eau et glace a été déterminée par Calipso, sans info sur la température. Ces informations ont été utilisées pour modifier le schéma nuageux dans LMDZ.

Discussion

Il est ressorti des présentations et des discussions des similarités importantes entre les problématiques du visible aux microondes, avec la nécessité d'une bonne compréhension de la microphysique de la phase glace, pour permettre la modélisation des paramètres de diffusion.

La microphysique de la phase glace

En microondes, passif et actif, la loi de masse (de type $m=\alpha D^\beta$) définissant implicitement la densité et la forme des particules est primordiale. Les travaux conjoints LATMOS / LAMP, avec les données radar et in situ ont fourni des estimations qui peuvent aider la modélisation en microondes passives. Ces paramétrisations doivent être testées en microondes passives.

Au cours des campagnes d'observations, le radar mesure un volume significatif du nuage (visée vers le haut et le bas et déplacement de l'avion dans le nuage). Le radar et les mesures in situ fournissent un profil vertical du nuage, pour un volume significatif, similaire à un pixel passif. Pour des mesures en coïncidence avec des observations microondes passives satellitaires, des tests de cohérences sont à faire. Le LERMA, le LATMOS, le LAMP et Météo-France doivent se coordonner pour trouver des situations d'observations communes, sur les dernières campagnes (campagnes de validation de Megha-Tropiques).

Une discussion suit sur la représentativité des campagnes, qui doivent pouvoir couvrir la variabilité des environnements en global.

Modèle de transfert radiatif

Avant tout, il faut s'assurer que tous les interlocuteurs parlent le même langage. Le rayon effectif est le rapport du moment d'ordre 3 de la PSD sur son moment d'ordre 2. En microondes, ce n'est pas toujours la définition adoptée.

Des questions se posent sur la nécessité du transfert radiatif 3D, du visible au microonde. On est tous d'accord que le 'beam filling effect' est à prendre en compte. Le papier de Geer et al. (2009) au JAMC est assez instructif sur ce point car il utilise la notion de « nébulosité effective » qui lui permet de représenter simplement cet effet tout en restant assez précis. Des comparaisons tout à fait convaincantes sont faites avec des approches ICA (Independent Column Approach). En ce qui concerne l'effet radiatif 3D à proprement parler (lié à la structure 3D du nuage et entre autres aux photons latéraux dans le nuages), il n'est pas encore prouvé qu'il faille le prendre en compte, en microonde pour simuler des observations satellites avec des résolutions de l'ordre de 10 km ou plus (voir le papier de Bennartz et Greenwald, QJRMS, 2011).

En ce qui concerne l'assimilation des observations microondes passives dans les modèles de prévision, beaucoup d'observations satellites sont disponibles. Actuellement les données que le modèle ne peut pas décrire suffisamment précisément ne sont pas assimilées (c'était le cas à l'ECMWF pour les hautes fréquences micro-ondes en atmosphères pluvieuses avant les modifications proposées par Geer et al. (2014) dans RTTOV-SCATT).

Il est rappelé que RTTOV simule maintenant du visible au microonde (tous les instruments classiques qui mesurent dans le spectre solaire sont présents dans RTTOV 11 : AVHRR, VIIRS, IASI, MODIS...). C'est donc un modèle qui peut être utilisé de façon très large, pour simuler une suite d'instruments avec des hypothèses cohérentes. Il présente ainsi un bon compromis entre rapidité et précision des calculs. Dans Geer et al. (2014) la comparaison de RTTOV-SCATT avec des modélisation plus précises du transfert radiatif ne pointe pas du doigt la méthode « Delta-Eddington » comme étant à l'origine des erreurs les plus importantes de ce schéma.

Lien avec le modèle méso-échelle

Dans le modèle de nuage méso-échelle, il n'est pas prévu de développement en ce qui concerne la modélisation des grosses particules, auxquelles les microondes (passives et actives sont sensibles). Les efforts se concentrent actuellement sur les petites particules, leur forme et le rôle des aérosols.

Pourrait-on envisager de modifier les lois de masse dans le modèle, pour être plus proche des observations récentes? Avec le modèle et les observations microondes, on n'est pas sensible aux mêmes aspects de la microphysique : le radar globalise les profils de réflectivité quel que soit le type de particules de glace, alors que le modèle détaille neige-graupel-hail. De plus, avec les mesures in situ depuis un avion, on privilégie les legs à altitude constante alors que la variabilité est plus sur la verticale. Ce sont des visions de la microphysique qu'il n'est pas simple de concilier.

Des questions se posent sur la possibilité de contraindre les inversions radar (avion) avec de l'information a priori sur les profils. Par exemple, si on observe une bande brillante, le profil microphysique a-t-il des propriétés particulières qui pourraient être exploitées pour réduire les incertitudes ? Peut on utiliser non seulement les réflectivités, mais aussi l'information de gradient sur les profils observés ?

La possibilité d'observations communes aux différentes longueurs d'onde

Des campagnes ont eu lieu récemment avec l'avion HALO, pour des observations passives et actives.

Des possibilités sont à creuser pour faire voler le démonstrateur ISMAR (avion du UK Met Office) avec RASTA (Falcon). Dans les discussions des prochaines campagnes, ce sera à aborder. Les coïncidences avec des observations satellites du visible aux microondes sont aussi à rechercher.

De manière assez concrète on pourrait commencer rapidement à travailler sur (1) l'établissement d'une description homogène de la microphysique de glace qui puisse être utilisée dans tous les domaines de longueur d'onde (en terme de distribution de tailles mais aussi de répartition verticale avec le lien entre IWC, la taille effective et l'extinction) et (2) le couplage des codes de transfert radiatifs avec des modèles méso-échelle qui permettrait de réaliser des études de sensibilité de manière cohérente pour différents instruments actifs (lidar/radar) ou passifs (du VIS -> SWIR -> IRT -> submm). Ces 2 étapes seraient déterminantes, pour planifier des campagnes de mesures de préparation et de validation pour les instruments d'EPS-SG et évidemment pour le développement d'algorithmes multi-capteurs dans le même cadre.

Programme de la journée

- 09h15 Introduction, Catherine Prigent, LERMA.
- 09h30 'Ice clouds observed by passive remote sensing : What did we learn from the GEWEX Cloud Assessment?' Claudia Stubenrauch, LMD.
- 10h00 'Caractérisation in situ de la phase glace',
Alfons Schwarzenboeck, LAMP.
- 10h30 'Traitement explicite des nuages dans Méso-NH',
Jean-Pierre Pinty, LA.
- 11h00 'Récentes avancées dans l'analyse de la phase glace dans les nuages à partir d'observations radar et de combinaisons radar-lidar', Julien Delanoe, LATMOS.
- 11h30 Pause
- 12h00 'Les différentes hypothèses microphysiques et leurs impacts en microondes', Victoria Galligani, LERMA.
- 12h30 'Observations microondes, millimétriques et submillimétriques: les perspectives', Eric Defer, LERMA.
- 13h00 Déjeuner à la cantine de l'Observatoire
- 14h00 'Utilisation des microondes passives hautes fréquences pour la détection des précipitations' Chantal Claud, LMD.
- 14h30 'Simulation du sondeur micro-ondes SAPHIR en zones nuageuses avec le modèle ALADIN Réunion', J.-F. Mahfouf, Météo-France.
- 15h00 'Observation des précipitations en Antarctique avec CloudSat',
Cyril Palerme, LGGE.
- 15h30 'Caractérisation de la phase glace dans les nuages à partir de POLDER et MODIS', Jérôme Riedi, LOA
- 16h00 'La phase glace vue par le visible et l'infrarouge et les liens avec les microondes', Vincent Noel, LMD.
- 16h30 Discussion
- 17h00 Fin de la réunion

Participants à la réunion

1. Chaboureau Jean-Pierre, LA.
2. Chepfer Helene, LMD.
3. Claud Chantal, LMD.
4. Defer Eric, LERMA.
5. Delanoe Julien, LATMOS
6. Descloitres Jacques, ICARE.
7. Eymard Laurence, OSU ECCETERA.
8. Genthon Christophe, LGGE.
9. Guignard Anthony, LATMOS.
10. Jimenez Carlos, Estellus.
11. Legras Bernard, LMD
12. Lifermann Anne, CNES.
13. Listowski, Constantino LATMOS.
14. Maattanen Anni, LATMOS.
15. Mahfouf Jean-Francois, Météo-France
16. Noel Vincent, LMD.
17. Palerme Cyril, LGGE.
18. Pinty Jean-Pierre, LA
19. Prigent Catherine, LERMA.
20. Riedi Jérôme Riedi, LOA
21. Rysman Jean-François, LMD
22. Schwarzenboeck Alfons, LaMP
23. Souyris Jean-Claude, CNES.
24. Stubenrauch Claudia, LMD
25. Szczap Frédéric, LaMP.
26. Veyre Philippe, CNES.
27. Wang Dié, LERMA.