



Estimation de la vapeur d'eau atmosphérique par radiométrie satellite

Compte-rendu de la réunion du 06/10/2010 à l'Observatoire de Paris

GDR 3187 "Radiométrie Micro-onde pour l'Étude de l'Atmosphère / Research Group in Microwave Remote Sensing for Atmospheric Studies"

Cette journée de réflexion a réuni plus de 25 personnes, représentant les différents laboratoires et acteurs concernés par la problématique de l'estimation de la vapeur d'eau atmosphérique. Des exposés ont tenté de fournir un panorama des activités de la communauté française dans le domaine, non seulement en microonde mais aussi en infrarouge et dans le domaine visible, pour des applications météorologiques et climatologiques, en insistant sur les difficultés de l'inversion des profils atmosphériques et en montrant le potentiel de la synergie entre les différentes approches (radiométrie microonde, infrarouge, visible, utilisation du GPS). Les présentations ont été suivies d'une discussion, avec pour objectif de favoriser les échanges dans la communauté et potentiellement de susciter des projets communs. Voir en annexe le programme de la journée ainsi que la liste des participants. Les différentes présentations sont disponibles sur le site (<http://lerma7.obspm.fr/~gdr/GDR/Home.html>).

Brèves présentations des exposés

- La journée s'ouvre sur un rappel des besoins des utilisateurs, à l'horizon 2020, tels que définis par les réflexions PostEPS, en termes de prévisions météorologiques globales, régionales et de climatologie. Il est évident que ces exigences sont hors d'atteinte avec les systèmes d'observations actuels et il n'est pas évident qu'ils soient satisfaits même dans les décennies à venir (Catherine Prigent, LERMA).
- Elisabeth Gérard (Météo-France, CNRM) présente les travaux récents à Météo-France, en insistant sur le poids des microondes sensibles à la vapeur d'eau dans l'assimilation et sur les efforts réalisés récemment sur l'utilisation des canaux sensibles à la surface, grâce à une meilleure prise en compte des émissivités sur terre. Il est noté qu'en termes de cycle hydrologique, l'assimilation des observations microondes reste primordiale, malgré l'apport de l'assimilation des données IR de IASI. Les prochains développements concerneront l'assimilation des données microondes nuageuses.
- Thierry Phulpin (CNES) fait le point sur les projets de radiomètres futurs sur les satellites météorologiques d'EUMETSAT, de la NOAA et de la JAXA. En plus des instruments dans la continuité de l'existant (type AMSU A-B et AMSR), il est envisagé des observations à plus hautes fréquences, jusqu'à 700 GHz. Il n'y a aucun projet sérieux à ce jour d'instruments microondes sur satellites géostationnaires.
- Depuis quelques années, le GPS joue un rôle unique dans l'estimation de la vapeur d'eau atmosphérique, avec une précision remarquable sur l'estimation des contenus intégrés (1kg/m^2). Olivier Bock (IGN) présente les principes de la mesure et fait le point sur les réseaux GPS permanents utilisés dans l'assimilation opérationnelle et sur le rôle des GPS dans l'évaluation des autres produits.
- Filipe Aires (Estellus) présente les travaux sur l'inversion des profils atmosphériques en microondes, à la fois au-dessus des océans et des terres. Il présente 3 types d'outils nécessaires à cette tâche : (1) une technique innovante de calibration pour l'inversion, (2) des méthodes de validation sur les espaces de vapeur d'eau et sur l'espace des température de brillance, et (3) une estimation des émissivités MW au dessus des continents. En bénéficiant d'une information réaliste sur les émissivités continentales, les simulations des températures de brillances au dessus des mers et des terres présentent des performances similaires. L'outil développé pour estimer les émissivités microondes (TELSEM) doit être testé en assimilation au UK Met Office.
- L'utilisation des profileurs infrarouges pour la restitution des profils en vapeur d'eau est l'objet de la présentation de Claudia Stubenrauch (LMD), depuis TOVS jusqu'à IASI, en insistant sur l'inter-comparaison des produits et leur évaluation pour des applications climatologiques. Les travaux du groupe SAF-Climat sont rappelés et une initiative GEWEX (Water Vapor Assessment) est indiquée.
- Hervé Herbin (LOA) discute des possibilités d'estimation de la vapeur d'eau dans le visible, en rappelant la sensibilité limitée de cette gamme de longueur d'onde à cette variable. Des produits 'recherche' existent néanmoins, mais sont surtout utilisés pour la correction d'autres produits issus de cette gamme de longueurs

d'onde. Est mentionné le projet TOPAZE (double imageur grand champ pour améliorer l'information 3D), soumis par le LOA à l'ESA pour les missions Earth Explorer (EE8).

- Maxime Paul (LERMA) présente des résultats obtenus dans le cadre du projet SYNERGY de l'ESA (entre autre contribution du LMD/LOA/LERMA), qui vise à utiliser conjointement des données microondes (type AMSU) et infrarouge (type IASI) pour une meilleure restitution des profils atmosphériques en vapeur d'eau et en température. Sont discutées différentes méthodes d'analyse du contenu en information des observations satellite. Les limites de l'analyse classique sont mises en évidence. En étudiant les résultats d'inversion, la synergie des observations microondes et infrarouge est montré, surtout pour les basses couches de l'atmosphère. Ce travail va se poursuivre dans le cadre de la thèse de Maxime, avec une attention particulière sur les inversions au-dessus des terres.
- Des travaux très récents sur la spectroscopie de la vapeur d'eau sont présentés par Laurent Coudert (Université de Lille), concernant essentiellement des études sur l'intensité des raies. Les résultats de ces travaux sont déjà insérés dans les bases de données GEISA et HITRAN et utilisés par les codes de transfert radiatif d'intérêt pour la communauté atmosphérique.
- Laurence Picon (LMD) fait le point sur les études de la troposphère libre, à partir d'observations infrarouges. Elle insiste sur l'importance de la vapeur d'eau dans ces couches de la troposphère sur le bilan radiatif de la planète. Des données à 6.3 microns existent sur les satellites défilants et géostationnaires depuis les années 70 et il y a donc la possibilité de produire des climatologies et d'aider à l'interprétation de la variabilité inter-annuelle du climat.
- Pour de nombreuses mesures satellitaires, la variabilité de la vapeur d'eau atmosphérique constitue une perturbation dont il faut s'affranchir. C'est le cas de la mesure altimétrique, pour laquelle il faut appliquer une correction en fonction de la vapeur d'eau atmosphérique. Pour cela, les missions altimétriques sont équipées de radiomètres microondes pour la mesure de la vapeur d'eau. Laurence Eymard (LOCEAN) fait le point sur ces efforts et sur les problèmes d'étalonnage rencontrés pour assurer la précision altimétrique requise, tout spécialement sur le long terme avec la production de séries climatologiques du niveau des mers.
- Jean-Marc Goutoule (ASTRIUM/EADS) rappelle les principes de la radiométrie microondes et décrit les fonctions des principaux éléments dans la chaîne instrumentale. Il présente l'activité de EADS dans les développements microondes. Il fait le point sur l'implication française dans les principaux projets internationaux, incluant les systèmes interférométrique. Les perspectives de missions (GPM Br-Fr, CloudIce) sont aussi évoquées.

Résumé de la discussion

Les applications du sondage au limbe pour la vapeur d'eau n'ont pas fait l'objet d'un exposé spécifique. Philippe Ricaud (LA) mentionne l'ANR TRO-Pico qui vise à étudier le bilan de la vapeur d'eau dans la haute troposphère-basse stratosphère et l'impact des systèmes convectifs sur ce bilan. L'étude est basée sur des mesures ballons embarquant des sondes Pico-SDLA (IR) de l'Univ. de Reims durant une campagne intensive en février 2012 au Brésil. Couplée à ces mesures, on trouve des mesures ballon de champ électrique, des sondages de H₂O au limbe (e.g. MLS) et au nadir (e.g. IASI), des mesures de hauteurs de nuages et de nuages de glace avec CALIPSO. La modélisation est présente à moyenne (BRAMS et MESO-NH) et grande échelles (MOCAGE et MIMOSA). Le but est de savoir si les phénomènes convectifs pénétrant la haute troposphère assèchent ou humidifient cette zone car cela impacte sur le bilan radiatif terrestre. Les labos impliqués: Univ. Reims (resp. Emmanuel Rivière), LATMOS (+LMD), LA (+CNRM), DT-INSU.

L'instrument IASI est très vivement défendu dans la communauté française et est tout particulièrement soutenu par le CNES. Le nombre de canaux utilisés en opérationnel pour les profils en vapeur d'eau et en température demeure très limité (de l'ordre de 20). Cet instrument a beaucoup d'autres atouts pour l'estimation des espèces minoritaires, pour lesquelles d'autres canaux sont nécessaires. Elisabeth Gérard (Météo-France, CNRM) insiste sur le fait qu'en météorologie opérationnelle il serait bien plus grave de perdre les instruments microondes que IASI. Des expériences menées à l'ECMWF montre que les observations MO sont très importantes pour la vapeur d'eau. Il est donc primordial de continuer à étudier la restitution de la vapeur d'eau par l'observation MO, même sur les situations claires, malgré l'existence des sondeurs IR à haute-résolution spectrale. L'importance d'améliorer les performances de IASI autour de 4 microns (réduction du bruit) est soulignée par Raymond Armand (LMD).

Les besoins des utilisateurs (position paper PostEps) sont rapidement discutés, pour en souligner le caractère irréaliste, avec les implications éventuellement contre-productives sur les développements instrumentaux. Trop d'exigence peut mener à l'immobilisme, les instruments proposés ne pouvant pas tenir les cahiers de charge.

En ce qui concerne les méthodes d'analyse de contenu en information, il est admis que la méthode classique est peu représentative de la réalité car les hypothèses sous-jacentes sont parfois trop limitatives. Raymond Armand (LMD) précise qu'en s'en tenant uniquement à ce type d'analyse classique, l'inversion du CO₂ à partir de IASI n'était pas envisageable. Il convient donc de continuer à développer des méthodes d'inversion propres pour avoir une meilleure estimation du potentiel des instruments.

L'importance de l'étalonnage / inter-étalonnage des instruments a été rappelée tout au long de la journée, tant pour les instruments microondes qu'infra-rouge. Par contre, on notera qu'en microonde, la communauté française n'est pas active dans ce domaine. Laurence Eymard (LOCEAN) note même que pour les applications océaniques, il n'y a pas à proprement parlé d'activité de développement algorithmique en France (vent, SST...), hormis pour SMOS. Claudia Stubenrauch (LMD) et Raymond Armand (LMD) mentionnent les efforts du GSICS (<http://www.wmo.int/pages/prog/sat/GSICS/>) pour la calibration des instruments.

Les membres du LMD (Claudia et Raymond) font part de la base de radiosondage développée au LMD et disponible à la communauté (données depuis 1989). Elle peut être utilisée en complément de la base GRUAN (<http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=GRUAN>).

Pascal Brunet (Météo-France, CMS) indique que le CMS cherche à développer une infrastructure pour les utilisateurs extérieurs, avec accès aux données satellites reçues par le CMS et la possibilité de tester des applications. Anne Lifermann (CNES) rappelle que ICARE fournit aussi de tels services.

La nécessité de mesures de référence de la vapeur d'eau a été évoquée maintes fois. Sur mer, les radiosondages sont trop peu nombreux et les mesures GPS aussi limitées. Laurence Eymard (LOCEAN) évoque la possibilité d'équiper les bateaux de radiomètres. L'idée séduit Alain Maestrini (LERMA) qui pense que des radiomètres performants et peu coûteux pourraient être développés. Pascal Brunel (Météo-France, CMS) propose d'en discuter avec la division DSO (Direction des Systèmes d'Observation) à Météo-France.

Eric Defer (LERMA) signale des résultats récents à partir de données simultanées de radar météo à deux bandes à 2.8 et 35 GHz (microondes actives au sol).

En astronomie, il est mentionné que des mesures de la vapeur d'eau sont en permanence engrangées, pour les corrections des observations, surtout en interférométrie (ALMA, plateau de Bure). Par exemple, sur le plateau d'Atacama (Chili) pour ALMA, il existe des mesures en continu par de nombreux radiomètres sur un site d'environ 10 km. Ces données pourraient intéresser les études sur la turbulence et il est indiqué d'en discuter avec Jean-Pierre Pommereau (LATMOS) et François Lott (LMD).

La prochaine réunion du GdR se fera en coopération avec le groupe SMOS, en janvier (date et lieu à préciser), en se concentrant sur les problèmes océaniques.

ANNEX 1 : Programme de la journée

09h30 - Objectifs de la réunion

(Catherine Prigent)

09h50 - Assimilation des radiances satellitaires sensibles à la vapeur d'eau en météorologie opérationnelle

(Elisabeth Gérard)

10h10 - Projets futurs de radiomètres microondes sur les satellites météorologiques polaires d'Eumetsat et de la NOAA

(Thierry Phulpin)

10h30 - La vapeur d'eau par GPS

(Olivier Bock)

10h50 - Pause café

11h10 - Inversion des profils vapeur d'eau terre/mer à partir des microondes

(Filipe Aires)

11h30 - La vapeur d'eau par IR

(Claudia Stubenrauch)

11h50 - La vapeur d'eau par UV-VIS

(Hervé Herbin)

12h10 - Complémentarité des différents domaines de longueurs d'onde

(Maxime Paul)

12h30 - Spectroscopie de la vapeur d'eau

(Laurent Coudert)

12h50 - Pause déjeuner

14h00 - Mesure de l'humidité dans la troposphère libre dans l'infra-rouge

(Laurence Picon)

14h20 - Corrections atmosphériques pour les altimètres

(Laurence Eymard)

14h40 - Les radiomètres microondes pour le sondage atmosphérique

(Jean-Marc Goutoule)

15h00 - Discussion.

ANNEXE 2 : Participants

01. Aires Filipe (Estellus)
02. Armante Raymond (LMD)
03. Bernardo Frédéric (Estelus)
04. Bock Olivier (IGN)
05. Brunel Pascal (Météo-France CMS)
06. Coudert Laurent (LISA)
07. Defer Eric (LERMA)
08. Eymard Laurence (LOCEAN)
09. Galligani Victoria (LERMA)
10. Gérard Elisabeth (Météo-France, CNRM)
11. Goutoule Jean-Marc (EADS)
12. Herbin Hervé (LOA)
13. Jimenez Carlos (LERMA)
14. Kolassa Jana (Estellus)
15. Lavanant Lydie (Météo-France CMS)
16. Lifermann Anne (CNES)
17. Maestrini Alain (LERMA)
18. Paul Maxime (LERMA)
19. Phulpin Thierry (CNES)
20. Picon Laurence (LMD)
21. Prigent Catherine (LERMA)
22. Ricaud Philippe (LA)
23. Rohard François (Université Lille)
24. Sivira Ramsés (LATMOS)
25. Stubenrauch Claudia (LMD)
26. Vidot Jérôme (Météo-France CMS)